

不同预冷方式对西式火腿风味及微生物安全的影响

廖彩虎, 李怡菲, 罗丹娴, 钟瑞敏, 谢思芸

(韶关学院英东食品学院, 广东韶关 512005)

摘要: 基于作者前期的研究基础, 本文将进一步探讨超声波辅助浸渍真空预冷 (Immersion vacuum cooling with ultrasonic assistance, IVCUA) 对西式火腿挥发性风味组分和微生物数量变化的影响。通过与浸渍真空预冷 (Immersion vacuum cooling, IVC)、真空预冷 (Vacuum cooling, VC) 和风冷 (Air blast cooling, AB) 等预冷方式作对比, 并以预冷后西式火腿的电子鼻、GC-MS 和微生物结果分析为评价指标。电子鼻分析结果表明, 电子鼻能够较好地地区分不同预冷方式处理组西式火腿挥发性风味物质的差异。GC-MS 分析结果表明, 相比于 AB 处理组西式火腿中检出的 106 种挥发性风味物质, VC、IVC 和 IVCUA 处理组中分别检出 66、70 和 77 种, 且损失的种类大部分为对风味贡献不大的醇和烃类。相比 VC 组和 IVC 组而言, IVCUA 组在对风味贡献大的醛类、酮类、酯类等挥发性风味物质上有更小的损失。菌落总数和乳酸菌数量变化结果表明, IVCUA 组具有较 AB、VC 和 IVC 组更低的菌落总数和乳酸菌数量, 表明其具有更长的货架期。综上所述, IVCUA 组作为一种创新的预冷方式对熟肉制品的预冷是可行的。

关键词: 浸渍真空预冷; 超声波; 西式火腿; 挥发性风味组分; 微生物安全

文章篇号: 1673-9078(2021)08-234-243

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.8.0122

Effect of Different Cooling Methods on the Flavor and Microbial Safety of Cooked Pork Ham

LIAO Cai-hu, LI Yi-fei, LUO Dan-xian, ZHONG Rui-min, XIE Si-yun

(Yingdong Food Science and Engineering Institute, Shao Guan University, Shaoguan 512005, China)

Abstract: Based on the author's previous study, immersion vacuum cooling with ultrasonic assistance (IVCUA), is further compared with immersion vacuum cooling (IVC), vacuum cooling (VC) and air blast cooling (AB) for the change of volatile compounds and microbial count in cooked pork ham. Electronic nose analysis results indicated that the differences on the volatile flavor compounds of cooked pork hams treated by different cooling methods could be sensitively detected using the electronic nose. The results of GC-MS analysis demonstrated that there were significant difference on the compounds of volatile flavor of cooked pork ham treated by different cooling methods, and 66, 70, 77 and 106 volatile flavor compounds were detected for VC, IVC, IVCUA and AB samples, respectively. VC, IVC and IVCUA samples had a higher loss on alcohol and hydrocarbon compared to those treated by AB. However, these losses didn't produce a significant effect on the total produced flavors. Compared to IVC and VC samples, IVCUA samples had more compounds of volatile flavor including aldehydes, ketones and esters, which play an important role in the formation of total flavors. In addition, it was concluded that samples treated by IVCUA had a lower total viable count and lactic acid bacteria count compared to those subjected to AB, VC and IVC treatment during cold storage, indicating a longer shelf-life. Results confirmed that IVCUA is reasonable to cool the cooked meat products as an innovative cooling technology.

Key words: immersion vacuum cooling; ultrasonic wave; cooked pork ham; volatile flavor compounds; microbial safety

引文格式:

廖彩虎,李怡菲,罗丹娴,等.不同预冷方式对西式火腿风味及微生物安全的影响[J].现代食品科技,2021,37(8):234-243,+175

LIAO Cai-hu, LI Yi-fei, LUO Dan-xian, et al. Effect of different cooling methods on the flavor and microbial safety of cooked pork ham [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 234-243, +175

收稿日期: 2021-02-02

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (2020A151501182); 广东省公益研究与能力建设项目 (2015A02009193; 2017A020208077); 韶关市科技计划项目 (2019sn083; 2018sn156); 广东省科技创新战略专项资金 (pdjh2020b0538); 韶关学院大学生创新创业项目 (S201910576028)

作者简介: 廖彩虎 (1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与贮藏方向

通讯作者: 谢思芸 (1987-), 女, 实验师, 研究方向: 食品加工与贮藏方向

众所周知, 迅速跨越 63 °C 至 5 °C 的最佳温度范围是防止熟肉制品中微生物繁殖、增长的关键^[1-7]。真空预冷 (Vacuum Cooling, VC) 作为一种快速的预冷方式已经被广泛地应用于食品工业, 特别是在低温熟肉制品中^[5,8,9]。然而, 相对于传统预冷方式 (如风冷、水浸渍预冷) 而言, 真空预冷方式会导致样品更高的汁液损失、更低的嫩度和更少的汁液。上述缺陷限制了其在熟肉制品行业的应用^[10,11]。近年来, 浸渍真空预冷 (Immersion vacuum cooling, IVC) 作为真空预冷的一种优化预冷技术, 已经被证实其在低温熟肉制品中应用的可行性^[2,7,12-18]。其最大的优势在于有较传统预冷方式更快的预冷速率, 又有较真空预冷方式更低的水分损失, 同时对食品的质构、感官及营养方面都没有明显的副作用, 反而对微生物安全方面还有较好的改善^[2,7,12-18]。尽管如此, 但浸渍真空预冷仍然存在着预冷速率较慢 (特别是对较大块熟肉而言)、能耗较大 (浸渍液也会通过蒸发降温) 和色泽值变化大等问题^[19-21], 特别是对大块熟肉样品后半段的降温上 (该阶段降温基本上不依靠相变方式来降温)^[19,22]。不难发现, 改善浸渍真空预冷过程中的预冷速率, 特别是后半段的降温速率仍然是当前研究的热点。

近年来, 针对浸渍真空预冷过程中预冷速率慢的问题, 部分学者和食品科学家已经提出了一系列创新的方法来解决该问题, 包括在浸渍真空预冷过程中增加辅助搅拌^[13,16,18]; 复合真空预冷和浸渍真空预冷^[23,24]等。Feng^[16]等人通过增加辅助搅拌和不增加辅助搅拌相对比, 结果发现样品的预冷时间缩短了 47.39%。理论上讲, 通过搅拌而增加的对流传热系数仍然低于泡状沸腾状态下所获得的对流传热系数^[14,15]。因此, Guo^[14]等人 and Song^[15]等人应用创新的鼓泡真空预冷技术来试图获得更为理想的传热系数。尽管该设计能够有效地改善浸渍真空预冷的预冷速率, 然而鼓入的空气不仅容易导致二次污染的问题, 同时也增加真空泵的负荷。作者根据前期文献, 创新性地提出超声波辅助浸渍真空预冷技术。结果表明, 较浸渍真空预冷而言, 超声波辅助浸渍真空预冷不仅能够获得更快的预冷速率, 而且还能使样品获得了更均匀的水分分布、更低的水分损失和更优的质构指标^[25]。

尽管超声波辅助浸渍真空预冷较浸渍真空预冷而言对西式火腿的预冷速率、水分损失及品质影响上均表现明显的优势。然而, 超声波辅助浸渍真空预冷对西式火腿的风味及微生物安全等关键指标上的影响研究仍鲜见报告。毋庸置疑, 这些指标对于评价超声波辅助浸渍真空预冷是否能在西式火腿中推广使用扮演着重要的角色。因此, 本文将超声波辅助真空预冷与

风冷、真空预冷和浸渍真空预冷等预冷方式作进一步对比, 并以风味、微生物安全等关键指标作为评价标准来验证其在低温熟肉制品中的可行性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪 (长白猪) 后腿肉, 食盐、白砂糖均购于广东省韶关市大学路万家福超市。

三聚磷酸钠、亚硝酸钠均为食品级戊二醛、乙醇、叔丁醇等试剂均为分析纯, 均采购于韶关市新创意有限公司。

1.2 仪器与设备

KM-50 真空预冷机 (真空箱内配置超声波、高清摄像头、温度探头和压力探头), 东莞科美斯制冷设备有限公司; Testo174/T4 温度记录仪, 德国德图公司; EJ-5202A 精密电子天平, 福州华科电子仪器有限公司; Inose 电子鼻, 上海瑞玢智能科技有限公司; GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪, 岛津企业管理 (中国) 有限公司; DN-13B 多功能蒸煮锅, 广州红菱电热设备有限公司; 57328U 固相微萃取头, 美国 SUPELCO 公司; SP60 色差仪, 美国爱色丽公司; TM101 压力传感器, 德国莱宝公司。SK8200H 超声波发生器 (超声波传感器和超声波发生器分离), 上海科导超声波仪器有限公司; DS-2CD3310-1 高清摄像头, 杭州海康威视数字技术股份有限公司; FGM 54/108 盐水注射机, 丹麦 Fomaco 食品机械公司; RGR-1700 真空滚揉机, 中国嘉兴瑞邦机械有限公司; VF 608 PLUS 真空定量灌装机, 德国阿尔伯特汉特曼控股有限公司。

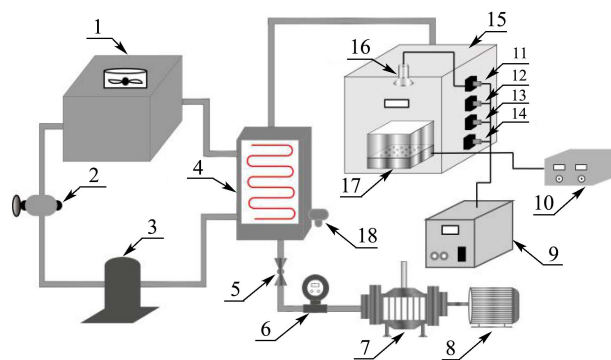


图1 超声波辅助浸渍真空预冷设备组合图

Fig.1 Schematic diagram of the modified vacuum cooling equipment

注: 1.冷凝器; 2.膨胀阀; 3.压缩机; 4.蒸发器; 5.气动阀; 6.电磁阀; 7.真空泵; 8.电动机; 9.数据处理器; 10.超声波发生

器; 11.摄像头控制器; 12.温度传感器; 13.压力传感器; 14.排气阀控制器; 15.真空箱; 16.摄像头; 17.超声波传感器; 18.排水阀。

1.3 方法

1.3.1 西式火腿的制作方法

参考 Liao 等^[25]的方法, 将真空滚揉后的样品用真空定量灌装机灌入至直径为 6.7 cm 的纤维肠衣中以填充成圆柱形, 真空度维持在 10000 ± 1000 Pa。每个样品的长度维持 12 cm, 重量约为 480 g 的圆柱体。随后, 样品采用 80 °C 的蒸煮温度进行蒸煮, 至样品中心温度为 72 °C 时再维持 2 min。

1.3.2 预冷方法

参考 Liao 等^[25]的方法。应用上述 4 种预冷方式对蒸煮后的西式火腿进行降温。当样品的温度达到 4 °C 时, 停止预冷, 处理相关数据。所有实验重复三次。为了确保过程中样品的微生物安全, 凡是接触过样品的容器都提前用 75% 的酒精中浸泡 12 h, 然后再用无菌水进行清洗。同时, 预冷处理后的样品也需要立即转移至灭过菌的真空包装袋中, 并及时真空包装。

1.3.3 电子鼻测试方法

将预冷后的样品 (4 °C) 碾碎混匀, 取 2.0 g 装瓶, 25 °C 环境下静置 30 min。以洁净干燥的空气为载体, 气体流量 1 L/min, 按每组编号进样, 10 s 进样完毕, 检测时间 120 s, 相同组样品检测需清洗时间为 120 s, 不同组样品清洗时间需 1800 s。相同组样品测试次数 3 次。测试后的数据采用 SIMCA 14.1 软件处理来获得 PCA 主成分分析图。

1.3.4 GC-MS 测试方法

1.3.4.1 固相微萃取

将预冷后的样品 (4 °C) 碾碎混匀, 在 20 mL 装有磁力搅拌子的顶空瓶中加入 4.0 g 样品, 插入 PDMS 纤维头, 放入集成式磁力加热搅拌器 (PV50, SV50) 50 °C 水浴吸附 40 min, GC 进样口解析 5 min, 用于 GC-MS 分析。每个样品平行三次。

1.3.4.2 色谱条件

色谱柱: Rxi-5sil-MS 毛细管柱 (0.25 mm×30 m, 0.25 μm); 载气高纯 Ne, 流量 1 mL/min; 进样口温度为 250 °C, 起始柱温 35 °C, 保持 2 min, 以 5 °C/min 的速率升温至 80 °C, 保持 1 min, 再以 8 °C/min 上升至 180 °C, 保持 2 min, 以 16 °C/min 上升到 240 °C, 保持 1 min, 分流比 10:1。

1.3.4.3 质谱条件

离子源温度 220 °C, 接口温度 250 °C, 电离方式 EI, 激活电压 1.5 V, 质量扫描范围 m/z 35~500。

1.3.4.4 统计分析

通过质谱解析以及与 NIST 14 a.L 谱库进行比对, 并采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

1.3.5 菌落总数、乳酸菌和大肠菌群检测

于洁净工作台内, 将剪碎后的样品 25 g 置于装有 225 mL 无菌生理盐水中的无菌袋中, 随后采用均质拍打器拍打 10 min, 将经过充分振荡的混合液依次制成 1:10 的均匀稀释液。选择合适比例的稀释液后各取 1 mL 注入到灭过菌的平皿中, 每个稀释度做两个平皿。其中, 对于菌落总数的检测, 倒入灭过菌的 PCA 琼脂培养基, 随后放入 36 ± 1 °C 培养箱中培养 48 ± 2 h; 对于乳酸菌的检测, 倒入灭过菌的 MRS 琼脂培养基, 随后放入 36 ± 1 °C 培养箱中培养 72 ± 2 h。

1.4 数据处理与分析

测定和分析结果采用 SPSS 13.0 for Windows 进行处理。主成分分析采用 SIMCA14.0 软件处理。绘图采用 Origin 9.1 软件处理, *C.perfringens* 增长预测采用 PMP 7.0 软件预测。

2 结果与分析

2.1 电子鼻

由图 2 可知, 电子鼻的 14 个传感器对不同预冷处理后西式火腿的挥发性风味物质均有响应, 说明利用电子鼻分析不同预冷方式处理后的西式火腿的风味物质成分变化是可行的。IVCUA 组、IVC 组和 VC 组处理后的西式火腿的 S1、S5、S7、S8、S12 传感器响应值均与 AB 组存在着较为明显的差异, 尤其是 S8 探头的差异最为明显, 说明电子鼻可以敏感地探测预冷后挥发性芳香类物质的差异。

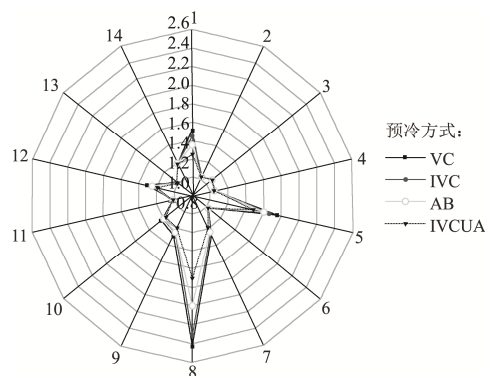


图 2 14 个传感器对不同预冷方式处理后的西式火腿的响应图

Fig.2 Response graphs of 14 sensors for flavor compounds from cooked pork ham treated by different cooling methods

注: VC, 真空预冷; IVC, 浸渍真空预冷; AB, 风冷; IVCUA, 超声波辅助冰浸渍真空预冷。

不同预冷方式处理后的西式火腿电子鼻主成分分析详见图3。其中传感器优化组合为S1-S5-S7-S8-S9-S10-S12,此组合下能获得最大的DI值(97.1%)。其中,PC1和PC2的方差贡献率分别为95.3%和3.6%,累计达到98.9%,超过80%。说明PC1和PC2已包含很大的信息量,能反映样品的整体信息,各样品的差异主要体现在PC1上。由图3中还可以看出,各预冷方式处理后的西式火腿均分布于各自独立的区域,且相互之间没有重叠。说明电子鼻可以较好地区分不同预冷方式处理后的西式火腿。由此说明不同预冷方式后的西式火腿在挥发性物质上存在着差异。传感器优化组合为S1-S5-S7-S8-S9-S10-S12,其中各传感器分别代表芳香族化合物、萜类、醇类、胺类、氢气类、呋喃类、硫化物等物质,由此说明上述物质在区分不同预冷方式后的样品扮演着重要的作用。从图3中还可以看出,IVCUA组、AB组集中在坐标轴的左侧,而VC组与IVC组主要集中在坐标轴的右侧。由此,说明IVCUA组的挥发性风味物质上与AB组更靠近,而VC组和IVC组在挥发性风味物质上更靠近。

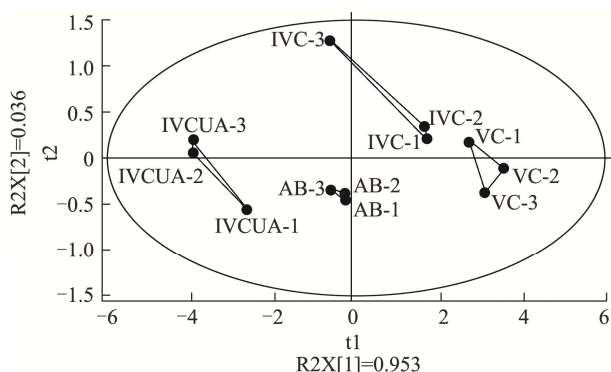


图3 不同预冷方式后的西式火腿的电子鼻主成分分析图

Fig.3 Principal component analysis of electronic nose data from cooked pork ham under different cooling methods

注:图中出现在预冷方式后的1、2、3分别代表三次平行测试样。

2.2 GC-MS 分析结果

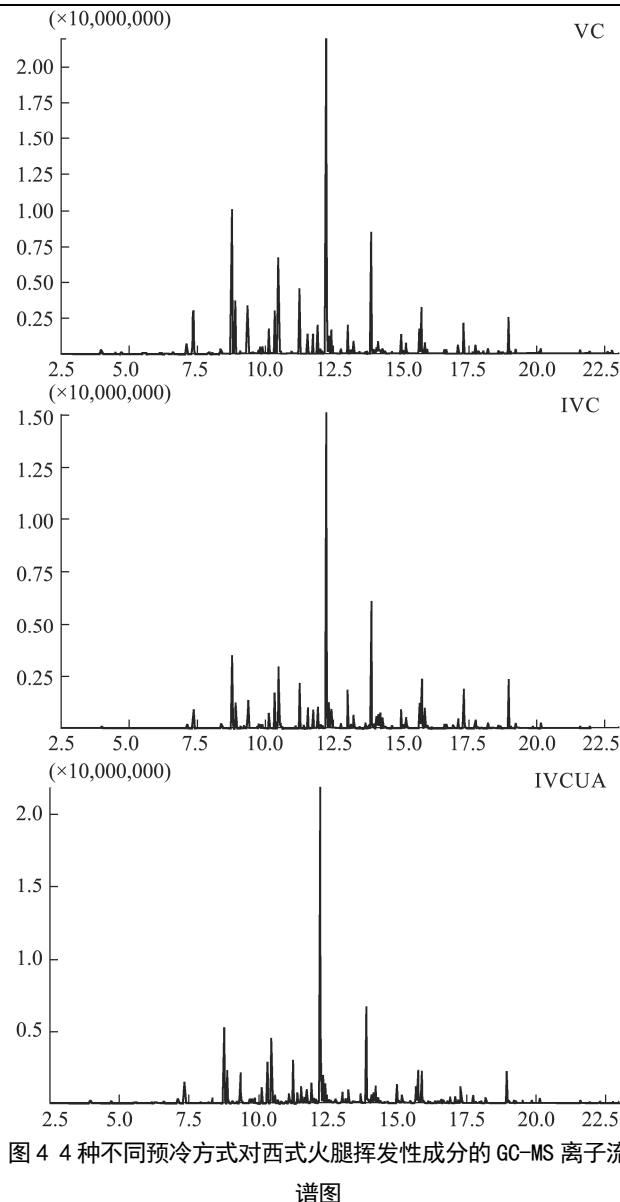
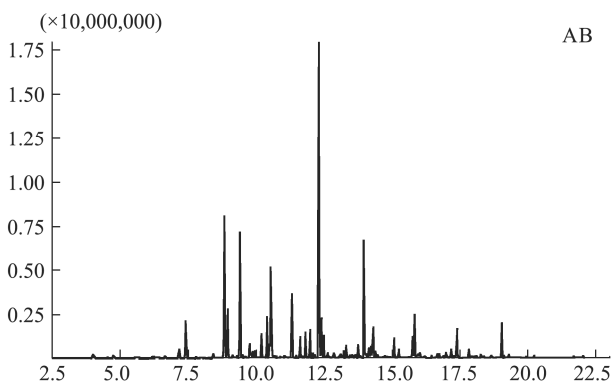


图4 4种不同预冷方式对西式火腿挥发性成分的GC-MS离子流谱图

Fig.4 GC-MS total ion chromatograms of volatile components in cooked pork ham treated by different cooling methods

相对于其他理化指标而言,风味也是影响肉制品品质的关键因素。一般而言,加工过程中的热处理会伴随着蛋白质、糖类和脂类的降解或者相互作用,而这些风味前体物质的相互作用或者降解过程中会形成风味物质,包括醛类、醇类、烃类、酯类、含氮化合物、含硫化合物和杂环化合物等。另外,加工方法包括腌制、烟熏等,以及微生物生长和繁殖等都会对风味物质产生影响^[26]。由图4和表1可知,不同预冷方式处理后的西式火腿在挥发性风味物质上存在着一定的差异。AB组处理中西式火腿共鉴定出了106种挥发性风味物质,主要包括醇类(16)、烃类(52)、醛类(10)、醚类(7)、酮类(4)、芳香类(9)、酚类(2)、酯类(2)、其他(3),而VC组、IVCUA组和IVC组则分别鉴定出66、77和70种。尽管数量上有差别

外,但风味物质的种类上差别不大,也主要是由醇类、烃类、醛类、醚类、酮类、芳香类、酚类、酯类和其他类挥发性风味组分等组成。由此说明,真空预冷及其优化技术在处理西式火腿时会导致部分挥发性风味物质数量的损失,但风味物质的种类则基本不变。

从预冷后具体的挥发性物质种类、数量及相对含量来看,真空预冷及其优化技术主要在醇类、烃类等种类数量上有较大损失,而对醛类、醚类、酮类、芳香类等种类的数量影响较小,详见表 2。根据前期文献资料,一方面,醛类可以在西式火腿加工或者贮藏过程中生成,醛类物质由于其阈值低而对西式火腿的风味扮演着极其重要的作用。另外,酮类物质主要来源于脂肪氧化的副产物、烷烃的降解或者微生物诱导二级醇脱氢,同样由于其阈值低而对风味物质的形成扮演着重要作用。类似于醛类和酮类,芳香类和酯类同样由于其阈值较低而对风味影响较大^[26-29]。不难发现,醛类、醚类、酮类和芳香类对西式火腿的风味扮演着重要作用。另一方面,烷烃类由于其风味阈值大,对风味的贡献几乎可以忽略不计。同时,烯炔可能来

源于加工过程中的盐卤,由于其阈值大而对风味的贡献也较小。另外,醇的形成可以是多种途径,包括氨基酸代谢、脂肪氧化、酮的还原蛋白质分解等,但由于其风味阈值较大而对西式火腿风味影响有限^[26,30,31]。所以,不难发现烃类、醇类由于其阈值较大的原因而对西式火腿的风味影响较小。另外,根据前期的文献资料,酚类^[32]主要对烟熏类肉制品贡献大,而对非烟熏的肉制品影响不大。总而言之,尽管真空预冷及其优化技术对风味物质如醇类和烃类等数量上有一定的损失,但对主要影响肉制品的风味物质如醛类、醚类、酮类和芳香类在数量和含量上都损失有限,从而说明真空预冷及其优化技术对西式火腿风味影响有限,表明其在肉制品应用上的可行性。从真空预冷及其优化技术本身来看,较 VC 组和 IVC 组而言,IVCUA 组处理后的西式火腿风味物质如醛类、酮类、醚类和芳香类等与 AB 组更接近,说明其能够更好地保留醛类、醚类、酮类、芳香类等挥发性风味物质,从而表现出更佳的风味。

表 1 不同预冷方式对西式火腿挥发性风味物质的影响

Table 1 Effects of different cooling methods on volatile flavor compounds of cooked pork ham

类别	序号	保留时间/min	中文名	相对含量/%			
				AB	VC	IVCUA	IVC
醇类	1	12.242	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	25.89±2.31	28.75±3.32	26.7±2.56	28.45±3.16
	2	13.9	(-)-4-萜品醇	7.17±0.59	8.83±0.71	7.53±0.75	8.35±0.79
	3	11.554	5-异丙基-2-甲基二环[3.1.0]-3-己烯 E 醇	1.85±0.15	1.41±0.15	1.62±0.19	1.48±0.13
	4	14.159	2-(4-甲基-3-环己烯基)-2-丙醇	0.79±0.10	1.21±0.19	1.25±0.06	-
	5	14.084	正十二烷醇	0.75±0.08	0.14±0.04	-	1.23±0.11
	6	4.702	正己醇	0.23±0.04	0.20±0.06	0.21±0.00	0.24±0.02
	7	9.087	1-辛烯-3-醇	0.15±0.00	0.09±0.00	0.15±0.03	0.14±0.03
	8	15.067	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	0.12±0.02	0.30±0.02	0.14±0.04	0.23±0.07
	9	13.75	2-茨醇	0.11±0.01	0.13±0.01	0.12±0.03	0.13±0.11
	10	14.67	3,7-二甲基-6-辛烯-1-醇	0.05±0.00	-	-	-
	11	12.786	5-异丙基-2-甲基二环[3.1.0]-3-己烯 S 醇	0.31±0.02	-	0.34±0.02	-
	12	14.402	薄荷醇	0.18±0.03	-	-	-
	13	14.57	异松蒎醇	0.03±0.00	-	0.04±0.00	-
	14	12.1	2-异丙基-5-甲基庚醇	0.26±0.06	0.14±0.02	-	0.30±0.09
	15	17.851	α-没药醇	0.08±0.04	-	-	-
	16	13.83	左薄荷脑	0.04±0.00	-	-	-
烃类	1	10.482	右旋萜二烯	7.28±0.69	4.98±0.56	6.69±0.59	5.72±0.48
	2	11.261	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,4-环己二烯	3.38±0.19	2.47±0.33	2.71±0.18	2.96±0.26
	3	8.901	6,6-二甲基-2-亚甲基双环[3.1.1]庚烷	2.83±0.16	-	3.22±0.26	2.38±0.12
	4	9.361	7-甲基-3-亚甲基-1,6-辛二烯	2.61±0.22	1.98±0.20	2.93±0.27	2.13±0.09
	5	7.357	(1R)-2,6,6-三甲基二环[3.3.1]庚-2-烯	2.12±0.18	1.7±0.15	2.45±0.31	-

转下页

接上页

6	11.927	萘品油烯	1.82±0.23	-	-	-
7	14.234	十二碳烷	1.4±0.09	2.04±0.19	1.37±0.15	2.19±0.20
8	10.133	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,3-己二烯	1.22±0.12	0.84±0.06	1.37±0.16	0.99±0.09
9	11.416	2,2,4-三甲基己烷	0.71±0.03	-	0.95±0.07	-
10	17.747	1-石竹烯	0.66±0.08	1.19±0.09	0.63±0.04	0.74±0.16
11	11.117	2,6-二甲基辛烷	0.68±0.11	0.36±0.03	0.84±0.10	1.07±0.11
12	13.694	3-甲基十一烷	0.53±0.03	0.71±0.07	0.63±0.08	0.99±0.13
13	17.102	ALPHA-蒎烯	0.5±0.02	0.96±0.18	0.49±0.01	-
14	11.675	2,8-二甲基十一烷	0.47±0.15	0.3±0.13	0.57±0.10	0.80±0.00
15	9.89	3,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯	0.37±0.09	0.24±0.15	0.39±0.08	0.28±0.19
16	9.707	正癸烷	0.36±0.00	0.12±0.03	0.33±0.04	0.32±0.10
17	12.567	9-甲基-5-十一烯	0.36±0.09	0.17±0.02	0.27±0.09	0.36±0.09
18	10.607	4,7-二甲基十一烷	0.35±0.11	-	-	-
19	9.813	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-1,3-环己二烯	0.33±0.09	0.22±0.04	0.36±0.02	0.26±0.07
20	13.952	2-乙基-1-癸烯	0.26±0.08	0.43±0.11	0.35±0.04	0.54±0.09
21	16.913	2-甲基十四烷	0.24±0.05	0.91±0.16	0.34±0.08	0.83±0.05
22	10.706	2,5-二甲基十一烷	0.16±0.02	-	0.23±0.13	0.31±0.06
23	11.476	2,2-二甲基癸烷	0.15±0.03	-	-	-
24	17.214	1-十四碳烯	0.15±0.08	0.40±0.16	0.18±0.02	-
25	12.704	3,3-二甲基辛烷	0.14±0.00	-	-	-
26	9.438	1-癸烯	0.13±0.03	-	0.18±0.00	0.19±0.07
27	19.859	十六烷	0.18±0.00	-	-	-
28	11.17	2,6-二甲基辛烷	0.12±0.05	-	0.16±0.01	0.20±0.00
29	12.75	2,2,7-三甲基癸烷	0.12±0.01	-	-	-
30	12.178	4-甲基-1-十一烯	0.11±0.00	0.09±0.03	-	-
31	13.4	5-甲基十一烷	0.11±0.00	0.11±0.02	0.12±0.02	0.19±0.11
32	13.588	4-甲基十二烷	0.11±0.02	0.34±0.04	0.14±0.03	0.20±0.13
33	12.89	3-乙基-3-甲基庚烷	0.10±0.05	-	-	-
34	13.524	2,6-二甲基壬烷	0.09±0.00	0.11±0.00	-	-
35	15.486	正十七烷	0.09±0.04	-	0.15±0.04	-
36	11.01	5,1-丁基壬烷	0.08±0.00	-	-	0.12±0.04
37	16.199	4,6-二甲基十二烷	0.08±0.01	-	-	0.15±0.03
38	10.974	3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	0.07±0.02	0.08±0.00	0.10±0.04	-
39	19.092	正二十一烷	0.05±0.01	0.32±0.16	-	0.10±0.00
40	9.959	2,2,3-三甲基癸烷	0.04±0.00	-	-	-
41	16.015	4,6,8-三甲基-1-壬烯	0.04±0.00	-	0.05±0.00	-
42	16.55	5-甲基-十四烷	0.04±0.01	-	-	-
43	9.15	2,2,6,6-四甲基庚烷	0.03±0.00	-	-	-
44	16.432	3,5-二甲基十二烷	0.03±0.01	-	0.06±0.03	0.15±0.03
45	17.531	1-十四碳烯	0.03±0.00	-	-	-
46	8.781	桉烯	6.71±0.58	5.04±0.53	7.84±0.49	5.52±0.46
47	7.115	侧柏烯	0.42±0.19	0.3±0.09	0.48±0.08	0.31±0.22
48	13.625	2-甲基-1-十一烯	0.06±0.00	-	-	-

转下页

接上页							
	49	16.823	2,6,11,15-四甲基十六烷	0.06±0.13	0.31±0.05	0.22±0.00	0.28±0.22
	50	18.037	1-环戊基癸烷	0.06±0.09	0.22±0.06	0.10±0.01	0.18±0.06
	51	19.292	5-甲基-二十一烷	0.06±0.00	-	-	
	52	19.526	十五烷	0.06±0.08	0.20±0.02	0.11±0.03	0.18±0.05
醛类	1	12.343	壬醛	2.47±0.22	2.47±0.24	2.33±0.22	2.56±0.29
	2	14.32	癸醛	0.58±0.18	0.67±0.16	0.43±0.07	0.56±0.21
	3	15.18	对甲氧基苯甲醛	0.57±0.22	1.09±0.11	0.72±0.01	0.89±0.08
	4	9.762	正辛醛	0.35±0.09	0.24±0.05	0.31±0.00	0.34±0.11
	5	8.372	苯甲醛	0.32±0.25	0.46±0.13	0.59±0.21	0.87±0.12
	6	10.844	苯乙醛	0.16±0.03	0.19±0.02	0.21±0.06	0.22±0.09
	7	13.469	反式-2-壬烯醛	0.12±0.05	0.14±0.04	0.15±0.02	0.16±0.01
	8	6.146	正庚醛	0.07±0.00	-	0.08±0.02	0.05±0.00
	9	17.448	十二醛	0.04±0.01	-	0.04±0.00	-
	10	21.945	十六醛	0.06±0.01	0.16±0.02	0.03±0.01	0.07±0.00
醚类	1	15.755	4-烯丙基-1,2-二甲氧基苯	2.47±0.26	4.89±0.48	2.65±0.21	3.33±0.34
	2	18.959	5-烯丙基-2,3-(二甲氧基)苯甲醚	2.11±0.15	4.69±0.46	2.36±0.22	3.28±0.19
	3	11.753	二烯丙基二硫醚	1.36±0.14	1.18±0.03	1.51±0.16	1.52±0.13
	4	15.956	二烯丙基三硫醚	0.29±0.06	0.41±0.04	0.24±0.03	0.18±0.07
	5	3.964	二烯丙基硫醚	0.25±0.03	0.18±0.02	0.27±0.04	0.21±0.01
	6	6.603	烯丙基甲基二硫醚	0.11±0.02	-	0.10±0.00	0.07±0.00
	7	15.625	3-甲基十二醚	0.03±0.00	-	-	-
酮类	1	15.004	右旋香芹酮	1.39±0.12	2.23±0.26	1.49±0.16	1.95±0.20
	2	13.251	2-茨酮	1.32±0.16	1.15±0.14	1.22±0.10	1.30±0.09
	3	9.223	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.14±0.02	0.12±0.03	0.13±0.01	0.20±0.01
	4	17.965	(E)-2,6-二甲基-2,6-十一碳二烯-10-酮	0.07±0.00	0.11±0.02	0.07±0.00	0.06±0.00
芳香类	1	17.308	1,2-二甲氧基-4-(2-丙烯-1-基)苯	1.7±0.14	3.59±0.34	1.79±0.02	2.97±0.30
	2	10.342	1-甲基-2-异丙基苯	3.35±0.36	2.42±0.26	3.83±0.23	3.21±0.31
	3	15.685	1-甲氧基-4-[(Z)-1-丙烯基]苯	1.24±0.15	2.35±0.24	1.40±0.14	1.61±0.22
	4	12.022	苯乙烯	0.33±0.22	0.41±0.09	0.39±0.03	0.42±0.05
	5	19.217	5-烯丙基-1,2,3-三甲氧基苯	0.14±0.03	0.38±0.05	0.16±0.04	0.24±0.12
	6	13.429	异戊基苯环	0.08±0.01	-	-	-
	7	18.586	1,2,2-甲氧基-4-丙烯基苯	0.05±0.02	-	0.07±0.00	0.08±0.00
	8	13.99	乙酸-1,2-二氢-2-萘酚酯	0.25±0.09	-	0.36±0.05	0.44±0.36
	9	20.498	4-乙基苯乙酸-1-甲基-2-庚烯酯	0.03±0.00	0.08±0.01	0.03±0.00	-
酚类	1	18.74	2,6-二叔丁基对甲酚	0.09±0.00	0.19±0.06	0.07±0.07	0.17±0.06
	2	16.664	2-甲氧基-3-(2-苯烯基)苯酚	0.21±0.09	-	-	-
酯类	1	16.597	乙酸松油酯	0.18±0.04	0.43±0.11	0.21±0.01	-
	2	16.474	异戊酸松油酯	0.11±0.03	-	-	-
其他类	1	12.423	二丙基二硫	1.41±0.15	1.22±0.19	1.33±0.13	1.33±0.02
	2	19.033	硫六聚物	0.12±0.04	0.21±0.03	0.15±0.02	0.15±0.04
	3	9.6	噻唑	0.08±0.02	-	-	0.11±0.00

表2 不同预冷方式后西式火腿挥发性风味物质鉴定结果

Table 2 Result of total flavor ingredients determined in cooked pork ham treated by different cooling methods

预冷方式	总数量	不同预冷后挥发性物质种类及其数量和相对含量/%								
		醇类	炔类	醛类	醚类	酮类	芳香类	酚类	酯类	其他
AB	106	16	52	10	7	4	9	2	2	3
		38.08	38.23	4.75	6.63	2.93	7.18	0.30	0.29	1.61
VC	66	10	29	8	5	4	6	1	1	2
		41.20	27.14	5.42	11.35	3.61	9.23	0.19	0.43	1.43
IVCUA	77	10	34	10	6	4	8	1	1	2
		38.16	40.08	4.90	7.14	2.91	8.04	0.07	0.21	1.48
IVC	70	9	31	9	6	4	7	1	-	3
		40.66	30.72	5.73	8.61	3.52	8.99	0.17	-	1.59

表3 不同预冷方法对西式火腿冷藏过程(4 °C)中菌落总数和乳酸菌数量的影响

Table 3 TVC and LAB evolution (log CFU/g) in cooed pork ham treated with different cooling methods during 4 °C storage

天数 /d	菌落总数				乳酸菌			
	AB	IVC	VC	IVCUA	AB	IVC	VC	IVCUA
0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
7	2.36(0.35)f	<1	<1	<1	2.59(0.11)e	<1	<1	<1
14	3.56(0.36)e I	2.67(0.22)d II	2.41(0.43)d II	2.25(0.12)e II	4.32(0.29)d I	2.91(0.33)c II	2.36(0.43)d II	2.37(0.19)f II
21	5.06(0.18)d I	3.63(0.26)c II	3.83(0.35)c II	3.35(0.19)d II	4.78(0.45)cd I	3.45(0.27)c II	3.55(0.34)c II	3.35(0.37)d II
28	5.88(0.26)c I	5.22(0.19)b II	5.04(0.36)b II	4.39(0.22)c III	5.33(0.39)c I	5.29(0.14)b I	5.14(0.22)b I II	4.39(0.16)c II
35	6.98(0.35)b I	6.39(0.38)a II	6.06(0.15)ab I II	5.16(0.23)bc III	7.01(0.26)b I	6.57(0.24)a I	5.79(0.26)ab I II	5.26(0.19)bc II
42	7.56(0.25)ab I	6.79(0.28)a II	6.34(0.08)a II	5.73(0.31)ab III	7.56(0.31)ab I	6.69(0.31)a II	6.14(0.19)a III	5.89(0.41)ab III
49	7.36(0.28)a I	6.84(0.26)a II	6.51(0.34)a II	6.26(0.26)a II	7.89(0.22)a I	7.11(0.16)a II	6.33(0.26)a III	6.33(0.24)a III

注：同列不同小写字母(a、b、c、d、e、f)代表差异性显著, $p < 0.05$; 同行不同数字(I、II、III)代表不同预冷方式组间差异性显著, $p < 0.05$ 。

2.3 不同预冷方式处理后的西式火腿在冷藏

过程中菌落总数和乳酸菌数量变化

不同预冷方式对西式火腿冷藏过程中菌落总数和乳酸菌数量变化的影响详见表3。除AB组外,其他3种预冷方式处理后的样品的菌落总数和乳酸菌数量在贮藏7 d内均小于1 log CFU/g, 14 d后均呈现明显增长的趋势,且差异性显著($p < 0.05$)。相对而言,IVCUA组处理后样品中的菌落总数和乳酸菌数量在贮藏过程中的增长速率要低于VC组,且两者都低于IVC组和AB组。从表3中还可以看出,乳酸菌和菌落总数的数量相似,可能是由于在真空低温的环境下,乳酸菌是优势菌^[33]。快速增长的乳酸菌能够有效地抑制假单胞菌和别的肠道菌。康大成^[34]利用超声波辅助腌制对牛肉品质的影响中发现,通过荧光染色和菌体纳米粒径分析表明超声波处理对牛肉中接种的大肠杆菌和蜡样芽孢杆菌细胞膜的完整性具有破坏作用,并产生了细胞碎片。Mendonca^[35]认为快速的预冷所产生的

“冷休克”(cold shock)效应会影响包括乳酸菌在内的微生物体内酶的活性,从而影响其在后期贮藏过程中的增长。在非最优温度下,影响微生物生长代谢的酶会受到了抑制,从而大大减少了合成酶的适应时间以及由此产生的细胞中新基因的转录和翻译(用于新细胞的形成)。因此,乳酸菌的生长受到了限制^[33]。由此说明,IVCUA组获得较为理想的乳酸菌数量和菌落总数数量,可能与其快速的预冷速率和超声波辅助灭菌效果存在着协同效果有关。相关研究表明,当熟肉制品中菌落总数超过7 log CFU/g时,认为超过其安全极限^[36,37]。同时,Mataragas等人、Kreyenschmidt等人和Hu等人^[38-40]也都将乳酸菌作为评价货架期的指标,是真空包装的低温熟肉制品冷藏过程中的对象菌。从表3中不难发现,49 d时,VC组和IVCUA组处理后样品的乳酸菌数量并未超过7 log CFU/g,然而IVC组和AB组处理后的样品的乳酸菌数量超过了7 log CFU/g。由此说明,IVCUA组能够延长西式火腿的保质期,在49 d时仍未超过保质期。

3 结论

不同预冷方式处理后的西式火腿在挥发性风味物质上存在着差异。VC组、IVC组和IVCUA组等基于真空环境下的预冷技术较AB组而言均对风味物质的损失上都有一定的影响。预冷过程中,真空预冷及其优化技术对烃类和醇类等对西式火腿风味贡献较小的挥发性物质损失较大,而对醛类、酮类及酯类等对风味贡献大的挥发性风味物质损失较少。相对而言,IVCUA组处理对西式火腿的醛类、酮类及酯类等物质上的保留能力要大于VC组和IVC组。另外,电子鼻和GC-MS技术在挥发性风味物质的分析上存在着较好的协同性。另外,IVCUA组处理后的样品有较其他预冷方式而言更低的菌落总数和乳酸菌数量,表现为更长的货架期。总之,IVCUA组作为优化后的浸渍真空预冷技术能够在挥发性风味物质保留和微生物安全上获得较为理想的预冷效果。该研究结论为IVCUA技术在低温熟肉制品预冷中的推广提供了可行性。

参考文献

- [1] Zhu Z W, Geng Y, Sun D W. Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 85: 67-77
- [2] Feng C H, Wang W, Makino Y, et al. Evaluation of storage time and temperature on physicochemical properties of immersion vacuum cooled sausages stuffed in the innovative casings modified by surfactants and lactic acid [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 257: 34-43
- [3] Ding T, Liu F, Ling J G, et al. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli [J]. International Journal of Agriculture & Engineering, 2016, 9(6): 178-185
- [4] Kusumaningsih T, Martini T, Rini K S, et al. Effect of air cooling and vacuum cooling storage on the β -carotene content and proximate analysis (water content, pH, total protein and content of sugar) in carrot [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 193: 1-6
- [5] Novotni D, Vrana Špoljarić I, Drakula S, et al. Influence of barley sourdough and vacuum cooling on shelf-life quality of partially baked bread [J]. Food Technology and Biotechnology, 2017, 55(4): 464-474
- [6] Kongwong P, Boonyakiat D, Poonlarp P. Extending the shelf life and qualities of baby cos lettuce using commercial precooling systems [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 150: 60-70
- [7] Feng C H, Drummond L, Zhang Z H, et al. Effects of processing parameters on immersion vacuum cooling time and physico-chemical properties of pork hams [J]. Meat Science, 2013, 95(2): 425-432
- [8] Zhang Z H, Drummond L, Sun D W. Vacuum cooling in bulk of beef pieces of different sizes and shape - evaluation and comparison to conventional cooling methods [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 581-587
- [9] Feng C, Drummond L, Zhang Z, et al. Vacuum cooling of meat products: current state-of-the-art research advances [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2012, 52(11): 1024-1038
- [10] Zheng L Y, Sun D W. Vacuum cooling for the food industry-a review of recent research advances [J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(12): 555-568
- [11] Houška M, Landfeld A, Sun D W. Eating quality enhancement of cooked pork and beef by ripening in brine and vacuum cooling [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(3): 357-362
- [12] Drummond L, Sun D W. Evaluation of the immersion vacuum cooling of cooked beef joints - mathematical simulation of variations in beef size and porosity and pressure reduction rates [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16: 205-210
- [13] Feng C H, Sun D W. Optimisation of immersion vacuum cooling operation and quality of Irish cooked sausages by using response surface methodology [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(8): 1850-1858
- [14] Guo Z Y, Song X Y, Song Z, et al. An improved method of immersion vacuum cooling for small cooked pork: bubbling vacuum cooling [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(12): 2748-2753
- [15] Song X Y, Guo Z Y, Liu B L, et al. Evaluation of bubbling vacuum cooling for the small-size cooked pork [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(4): 845-852
- [16] Feng C H, Sun D W, García-Martín J F, et al. Effects of different cooling methods on shelf-life of cooked jumbo plain sausages [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 54(2): 426-433
- [17] Feng C H, Li C. Immersion vacuum cooling as a novel technique for cooling meat products: research advances and current state of the art [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(6): 785-795
- [18] Feng C H, Drummond L, Zhang Z H, et al. Evaluation of

- innovative immersion vacuum cooling with different pressure reduction rates and agitation for cooked sausages stuffed in natural or artificial casing [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59(1): 77-85
- [19] Drummond L, Sun D W, Vila C T, et al. Application of immersion vacuum cooling to water-cooked beef joints - quality and safety assessment [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2009, 42(1): 332-337
- [20] Cheng Q F, Sun D W. Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water compared to that without water and with air blast cooling [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2006, 41(8): 938-945
- [21] Cheng Q F, Sun D W. Improving the quality of pork ham by pulsed vacuum cooling in water [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2006, 29: 119-133
- [22] Drummond L, Sun D W. Immersion vacuum cooling of cooked beef - safety and process considerations regarding beef joint size [J]. *Meat Science*, 2008, 80(3): 738-743
- [23] Schmidt F C, Laurindo J B. Alternative processing strategies to reduce the weight loss of cooked chicken breast fillets subjected to vacuum cooling [J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 128: 10-16
- [24] Dong X, Chen H, Liu Y, et al. Feasibility assessment of vacuum cooling followed by immersion vacuum cooling on water-cooked pork [J]. *Meat Science*, 2012, 90(1): 199-203
- [25] Liao C H, Yu Y G. An Innovative method of immersion vacuum for cooked meat products: immersion vacuum cooling with ultrasonic assistance [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(7): 2771-2782
- [26] 李新福. 培根加工及贮藏过程中腐败菌变化、鉴定及控制 [D]. 无锡: 江南大学, 2019
- LI Xin-fu. Changes, identification and control of spoilage microorganisms during bacon processing and storage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019
- [27] Careri M, Mangia A. Sensory property relationship to chemical data of Italian-type dry-cured ham [J]. *Food Science*, 1993, 58: 968-972
- [28] 吴金凤. 重庆农家腊肉风物物质研究及其安全性评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2008
- WU Jin-feng. Study on flavor substances of Chongqing traditional bacon and its safety [D]. Chongqing: Southwest University, 2008
- [29] 郭月红, 李洪军, 韩叙. 腊肉加工过程中脂肪氧化分解及其与风味形成的研究进展 [J]. *肉类研究*, 2005, 3: 33-35
- GUO Yue-hong, LI Hong-jun, HAN Xu. The research process of fat oxidation and decomposition and its relation with forming of flavor during the process of preserved ham [J]. *Meat Research*, 2005, 3: 33-35
- [30] Chen W, Rui H, Yuan H. Analysis of dynamic chemical changes in Chinese Cantonese sausage: factors influencing content of nitrite and formation of flavor substances [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 79(4): 1191-1195
- [31] Drumm T D. Changes in content of lipid auto-oxidation and sulphur-containing compounds in cooped beef during storage [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1991, 39: 336-343
- [32] Yu A N, Sun, B G. Flavor substance of Chinese traditional smoke cured bacon [J]. *Food Chemistry*, 2005, 89(2): 227-233
- [33] Feng C H, Drummond L, Sun D W. Modelling the growth parameters of lactic acid bacteria and total viable count in vacuum-packaged Irish cooked sausages cooled by different methods [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2014, 49(12): 2659-2567
- [34] 康大成. 超声波辅助腌制对牛肉品质的影响及其机理研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017
- KANG Da-cheng. Ultrasound-assisted curing on the quality of beef [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017
- [35] Mendonca A F. Microbiology of Cooked Meats. In: *Thermal Processing of Ready-to-eat Meat Products (Chapter 2)* (edited by Knipe C L & Rust R E) [M]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010: 17-38
- [36] Rubio B, Martinez B, Garcia-Cachan M D R, et al. Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de Leon" [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2007, 8: 102-110
- [37] Slongo A P, Rosenthal A, Camargo L M Q, et al. Modeling the growth of lactic acid bacteria in sliced ham processed by high hydrostatic pressure [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42: 303-306
- [38] Marc Y L, Plowman J, Aldus C F, et al. Modelling the growth of *Clostridium perfringens* during the cooling of bulk meat [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 128: 41-50
- [39] Kreyenschmidt J, Hubner A, Beierle E, et al. Determination of the shelf life of sliced cooked ham based on the growth of lactic acid bacteria in different steps of the chain [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 108: 510-520